

В результате проведенных исследований выявлено, что увеличение доли щелочного активирующего агента в исходной смеси приводит к росту сорбционной емкости полученного продукта как по метиленовому голубому, так и по йоду, причем по метиленовому голубому в большей степени. Вид исходной коксующей добавки играет важную роль в формировании адсорбционных свойств. В частности, сравнение образцов, полученных из разных видов коксующей добавки при одном и том же соотношении углеродного материала и активирующего агента показывает различие в сорбции по йоду при прочих примерно равных показателях. По-видимому, здесь немаловажную роль играет химический состав исходного сырья.

Полученные в работе порошкообразные углеродные сорбенты обладают высокими значениями адсорбционных характеристик как по йоду, так и по метиленовому голубому, в большинстве случаев на уровне или превышающими значения данных показателей активных углей, выпускаемых промышленностью. Так, технические условия для дробленых активных углей марки КАУСОРБ предусматривают адсорбционную активность по йоду не менее 1000 мг/г, для активных углей марки ОУ активность по метиленовому голубому составляет не менее 200 мг/г. Близки к этим требованиям и нормы для гранулированных углей [5]. У лучших образцов полученных сорбентов сорбционная емкость по йоду и метиленовому голубому достигала 5419 мг/г и 507 мг/г, соответственно. Высокие значения адсорбционных характеристик полученных образцов говорят о развитой поверхности этих сорбентов с широким распределением пор.

Список использованных источников

1. U.S. application Ser. № 644,095, dec. 24, 1975.
2. U.S. Patent 4,082,694 Apr. 4, 1978. Arnold N. Wennerberg et al. Active carbon process and composition.
3. Кинле Х. Активные угли и их промышленное применение / Х. Кинле, Э. Бадер. Л.: Химия, 1984. 216 с.
4. Манина Т. С. Получение и исследование высокопористых углеродных сорбентов на основе естественно окисленных углей Кузбасса. Дис... канд. хим. наук. Кемерово, 2013. 133 с.
5. Мухин В. М., Тарасов А. В., Клушин В. Н. Активные угли России / под общ. ред. проф. д-ра наук А. В. Тарасова. М.: Металлургия, 2000. 352 с.

УДК 66.096.5

Ивакина С. А., Мунц В. А., Толмачев Е. М., Мунц Ю. Г.
Уральский федеральный университет
v.a.munts@urfu.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ОБЖИГОВОЙ ПЕЧИ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Аннотация. В работе приведены данные по константам скорости окисления пирита железа, сульфида цинка и шихты, состоящей из указанных компонентов. С использованием полученных констант рассчитано распределение горючих веществ в печи кипящего слоя при различной концентрации кислорода в

дутье. Показано, что с увеличением концентрации кислорода в дутье полнота обжига возрастает.

Обжиг цинкового концентрата на Челябинском цинковом заводе проводят в печах кипящего слоя диаметром в свету 6,4 м. Основные конструктивные и эксплуатационные характеристики печи: внутренний диаметр печи 6,46 м, высота кипящего слоя 1,6 м, температура в рабочем пространстве 920-1100 °С, температура уходящих газов 820-1100 °С. Охлаждение кипящего слоя осуществляется системой испарительного охлаждения, которая включает в себя 22 кессона с площадью охлаждения 40 м². В слой подают воздух, обогащенный кислородом до концентрации 28-42 %, с избыточным давлением 32-36 кПа.

Для изучения кинетики окисления цинкового концентрата (шихты) в кипящем слое были проведены эксперименты на шихте и ее основных компонентах: сфалерите (ZnS = 67 %) и пирите (FeS₂ = 23,5 %). Эксперименты выполнялись при различных температурах на приборе синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3, совмещенного с масс-спектрометрической системой QMS 403C. На рис. 1 приведены результаты экспериментов по определению констант скорости реагирования сульфида цинка, пирита и шихты.

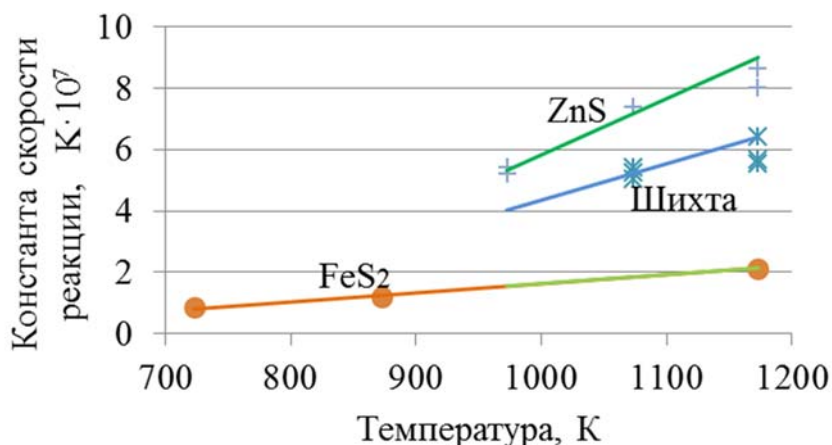


Рис. 1. Сопоставление констант скорости реагирования (линии - расчет по уравнениям аппроксимации, точки – результаты экспериментов)

Полученные данные использованы при моделировании процесса обжига в печи кипящего слоя.

Для этого была рассмотрена диффузионная задача окисления шихты в кипящем слое. Уравнение диффузии горючих веществ в цилиндрических координатах, при загрузке шихты в центр кипящего слоя имеет вид [1]

$$HD \left(\frac{d^2 c_z}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dc_z}{dr} \right) - f(c_z) = 0 \quad (1)$$

где D_z – эффективный коэффициент диффузии (перемешивания) материала кипящего слоя в горизонтальном направлении, м²/с; $f(c_r)$ – функция выгорания горючих в зависимости от их концентрации в кипящем слое, определяемая по выражению

$$f(c_z) = \frac{B}{F} = \frac{u}{\alpha V^0} = \frac{u}{V^0} \cdot \left[1 - \exp \left(-\frac{k \psi c_z H}{w} \right) \right], \text{ кг/(м}^2\text{с)}. \quad (2)$$

где F – площадь поперечного сечения печи, м^2 ; H – высота кипящего слоя, м ; V^0 – теоретически необходимое количество дутья, $\text{м}^3/\text{м}^3$; w и u – скорость дутья реальная и приведенная к нормальным условиям, $\text{м}/\text{с}$; k – константа скорости химического реагирования, $\text{м}/\text{с}$; ψ – удельная поверхность реагирования, $\text{м}^2/\text{с}$.

Краевые условия записывают из следующих предположений: пусть топливо подается по центру топки через цилиндрическую поверхность радиусом r_0 и высотой H . Тогда расход топлива, отнесенный к единице боковой поверхности,

будет представлять собой поток $j = \frac{B}{\pi \cdot r_0 \cdot H}$, имеющий размерность $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

$$\text{Тогда, при } r = r_0 \quad j = D_9 \frac{dc_z}{dx}, \quad \text{при } r = R \quad \frac{dc_z}{dx} = 0.$$

Вводя безразмерную концентрацию $z = \frac{c_z}{\rho \cdot (1 - \varepsilon)}$ и безразмерную координату $x = r/R$, где R – радиус печи получим

$$\left(\frac{d^2 z}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{dz}{dx} \right) - \phi [1 - \exp(-\theta z)] = 0 \quad (3)$$

$$\text{где } \phi = \frac{uR^2}{HD\rho(1-\varepsilon)V^0}; \quad \theta = \frac{k\psi\rho(1-\varepsilon)H}{w}.$$

Краевые условия в безразмерном виде

$$r = r_0, \quad \frac{dz}{dr} = q; \quad r = 0, \quad \frac{dz}{dr} = 0; \quad q = \frac{BR}{\pi r_0 HD\rho(1-\varepsilon)} \quad (4)$$

Оценим эффективный коэффициент диффузии инертного материала [2]

$$D = \frac{1}{60} \sqrt{H^3 g} = \frac{1}{60} \sqrt{1,64^3 \cdot 9,81} = 0,11 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Для реальных значений теплофизических параметров безразмерные комплексы изменяются в следующих пределах: ϕ от 0,003 при концентрации кислорода 21 % до 0,0065 при концентрации кислорода 46 %; θ от $\theta = 232$ при 750°C до $\theta = 295$ при 950°C . Значение величины потока q изменяется в диапазоне от 0,2 до 0,6 в зависимости от расхода топлива и конструктивных параметров.

Решение уравнения (3) с граничными условиями (4) представлено на рис. 2.

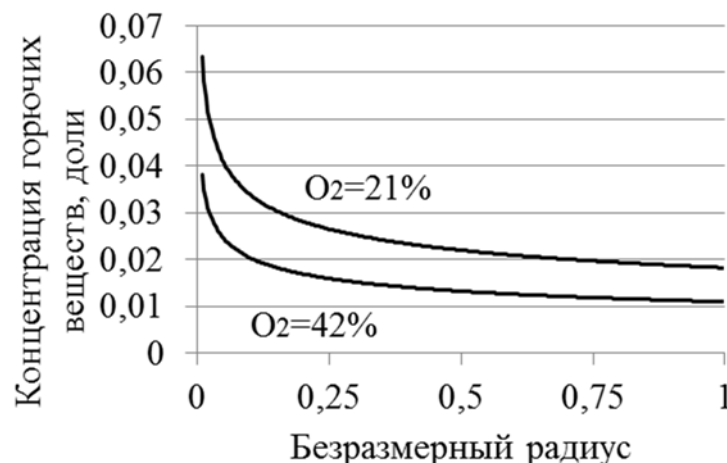


Рис. 2. Распределение концентраций горючих веществ по радиусу обжиговой печи

Концентрация горючих веществ по радиусу топки резко уменьшается, стремясь практически к нулю уже при безразмерной координате равной 0,5. Увеличение концентрации кислорода в дутье с 21 до 42 % практически вдвое уменьшает концентрацию горючих в готовом продукте, что обеспечивает существенное возрастание полноты обжига.

Список использованных источников

1. Волкова А. А., Шихов В. Н., Баскаков А. П. Моделирование и организация процессов сжигания твердого топлива в низкотемпературном кипящем слое // Проблемы тепло- и массообмена в процессах горения, используемых в энергетике. Минск : ИТМО им. А. В. Лыкова, 1980. С. 78-96.
2. Тодес О. М., Шейнина Л. С., Файницкий М. З., Пузрин М. А. Двухпараметрическая модель перемешивания твердой фазы в псевдоожиженном слое // Теоретические основы химической технологии. 1980. Т. 14. № 1. С.139-144.

УДК 624.182.9-66

Киселев А. А., Мунц В. А., Павлюк Е. Ю., Мудреченко А. В.
Уральский федеральный университет
v.a.munts@urfu.ru

ОСОБЕННОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ЛИГНИНА В КИПАЮЩЕМ СЛОЕ

Аннотация. В работе изложены вопросы сжигания лигнина. Проанализированы возможности утилизации лигнина при его огневом обезвреживании в кипящем слое. В работе рассмотрены результаты экспериментов на котле с кипящим слоем, которые показали высокую (до 80 %) степень связывания оксидов серы непосредственно в процессе сжигания. Использование отходов промышленного производства для выработки тепловой энергии в виде пара или горячей воды позволяет ощутимо экономить топливные ресурсы.

Лигнин - техногенный отход производства гидролизного спирта, представляет собой древесные опилки, обработанные серной кислотой.

Высокая влажность лигнина не позволяет его сжигать в существующих пылеугольных топках. Предварительная подсушка лигнина в выносной топке, за счет сжигания мазута, с последующей подачей в пылеугольный котел, оказалась экономически убыточным мероприятием. Тем более, что, в конечном итоге, этот способ утилизации лигнина привел к сернокислотной коррозии хвостовых поверхностей нагрева.

На котле, установленном в Экспериментально-производственном комбинате УрФУ, было проведено опытное сжигание лигнина с целью определения режимных параметров. При сжигании лигнина котел работал в режиме традиционного кипящего слоя, т. е. воздух в камеру охлаждения не подавался, улавлива-